

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕРАХ СГОРАНИЯ

Гутник М.Н., Васильев В.Д., Булысова Л.А., Фишер Ю.В.²,
¹ОАО «ВТИ»,
²ООО «ТЕСИС», г. Москва, Россия (jf@flowvision.ru)

АННОТАЦИЯ

Рассматривается течение смеси газов в камере сгорания ГТУ при «холодной» продувке камеры и при горении. Моделируются физические процессы: движение идеального газа, теплоперенос (конвекция и теплопроводность), турбулентность и горение метана (модель Аррениуса-Магнуссена). Приводятся результаты расчета температуры смеси и концентрации горючего в контрольных сечениях на каждом из режимов. Показана структура трехмерного течения, поля давления и температуры газовой смеси при «холодной» продувке и при горении.

Приводятся рекомендации для настроек математической модели при моделировании горения в камерах сгорания.

В работе рассматривается моделирование процессов, протекающих в малоэмиссионных камерах сгорания со сжиганием предварительно перемешанной топливовоздушной смеси воздуха с метаном. Моделирование проводится на современном ПК **FlowVision** версии 3.09.03.

Постановка задачи

При моделировании реализованы модели идеальных газов:

- Воздух;
- Метан;
- Продукты сгорания.

В математической модели заданы следующие процессы:

- движение ньютоновской жидкости/газа;
- теплоперенос – конвекция и теплопроводность;
- турбулентность – стандартная k-ε модель;
- массоперенос – горение (модель Аррениуса-Магнуссена).

«Холодная» продувка камеры осуществляется подачей воздуха с температурой 465 °С без зажигания смеси и, соответственно, без решения уравнений модели горения. Отличие граничных условий для «холодной» продувки и для варианта с горением – различный расход воздуха при входе, прочие параметры остаются одинаковыми.

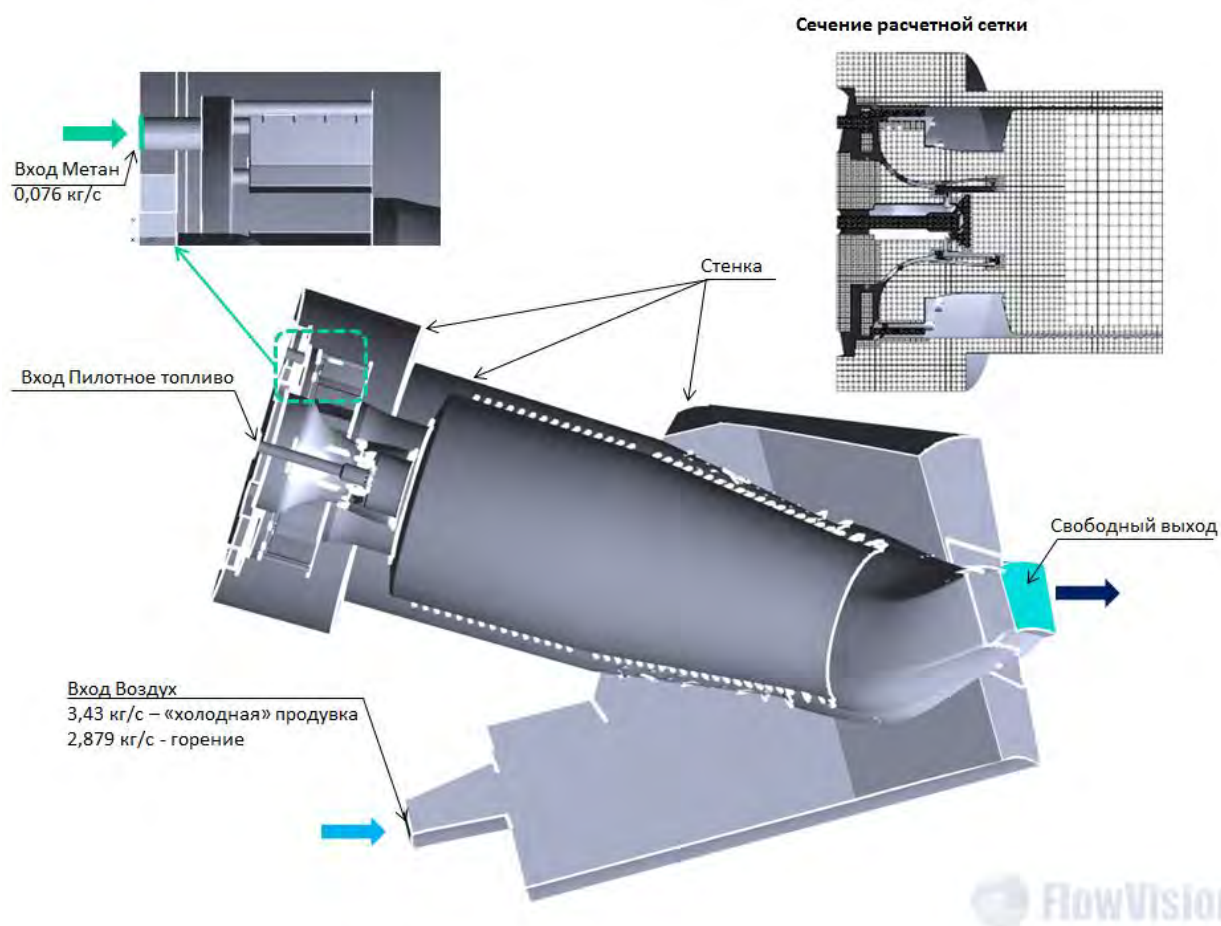


Рис.1 – Постановка задачи. Граничные условия.

Используется равномерная начальная сетка с локальной адаптацией (измельчением) до 4-го уровня – по отверстиям подачи воздуха в зону смешения. В постановке с горением дополнительно адаптирована зона протекания реакции. Общее число расчетных ячеек составляет 1 млн. 345 тыс. при холодной продувке и 1 млн. 532 тыс. при горении.

Расчет каждого варианта задачи проведен при использовании неявной «новой» схемы 2-го порядка точности, опробованной на многих задачах с различными физическими процессами в ПК **FlowVision**, начиная с версии 3.09.01.

Шаг по времени для варианта с «холодной» продувкой задан постоянным, равным $1e-4$ сек; для варианта с горением шаг задан с помощью числа Куранта-Фридрихса-Леви $CFL=1...20$ (меньшее значение шага по времени задавалось при инициировании горения на начальных шагах интегрирования).

Расчет проводился на Суперкомпьютере «Ломоносов» на 20 процессорах, что позволило существенно сократить время счета относительно персонального компьютера.

Результаты расчета

При «холодной» продувке процессе расчета контролировалась температура в средней части камеры и при выходе, которые служили критерием выхода задачи на стационарное решение. Средние значения температур в результате расчета составили:

- в средней части камеры 444°C ;
- при выходе из камеры 443°C .

Число шагов до сходимости составило 2000, что соответствует 0,2 сек физического времени.

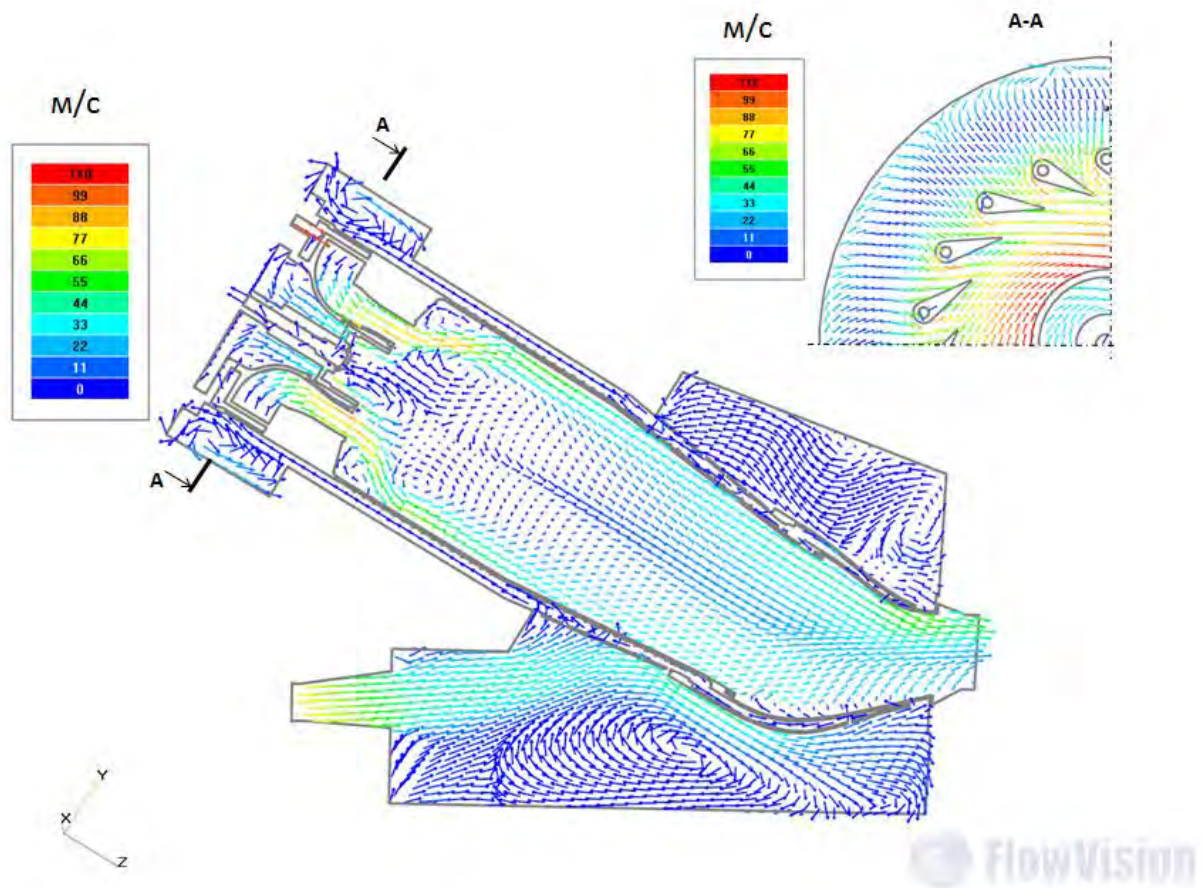


Рис.2 – Картина течения в продольном сечении камеры сгорания при «холодной» продувке

При расчете горения контролировалась температура не только в указанных плоскостях, но и в нескольких точках на жаровой трубе, максимальное значение температуры составило 1711 °С. Средние значения температур в результате расчета составили:

- в средней части камеры 1226°С;
- при выходе из камеры 1483°С.

Значение массовой доли горючего в плоскости выхода из горелочного устройства характеризует качество перемешивания смеси и эффективность самого устройства. При расчете среднее значение массовой доли горючего составляет 0,0226 при среднеквадратичном отклонении 0,0122.

При исследовании процесса горения в камере на данном режиме работы был определен шаг интегрирования, необходимый для успешного решения задачи, который менялся от CFL=1 при задании «поджига» смеси до CFL=20

при выходе на стационарный режим горения (0,14 сек). Для разрешения зоны горения также была скорректирована расчетная сетка увеличением области измельчения внутри жаровой трубы.

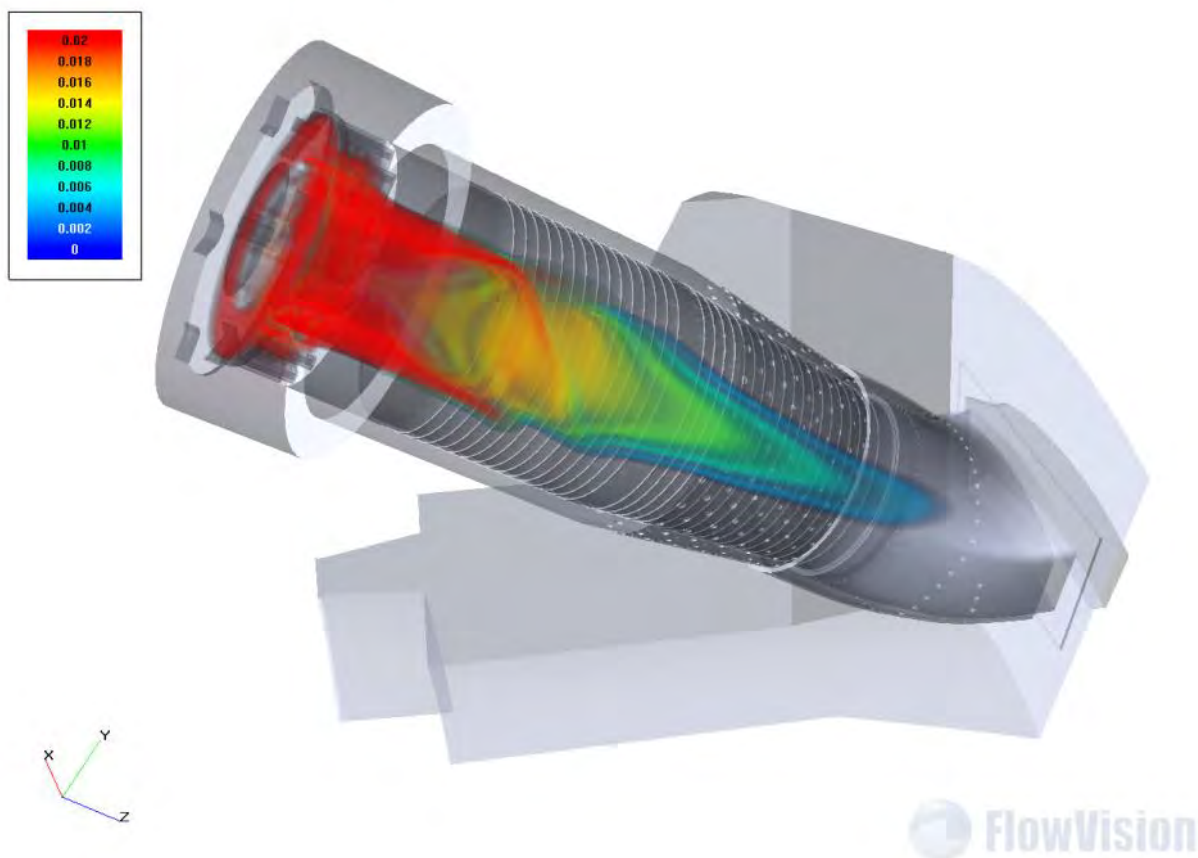


Рис.3 – Распределение массовой доли горючего в объеме

Выводы

- Проведено моделирование «холодной» продувки камеры сгорания и моделирования горения в камере
- Показана структура течения на каждом режиме работы
- Определены температуры и концентрация горючего в контрольных плоскостях и точках для последующего сравнения с экспериментом и определения адекватности настроек математической модели